10. 학사논문 지도교수: 여 재 익

10-1. [수치해석]폭발 모델링 및 고에너지 열유체 전산 해석 (김보훈)

10-2. [수치해석]차세대 우주추진 체계 개발을 위한 FSI 해석 (이영헌)

10-3. [수치해석]Open FOAM을 이용한 연소 불안정 해석 (남재현)

10-4. [수치해석]Metallic powder기반 폭연 반응 해석 (백동현)

10-5. [수치해석]알루미늄이 함유된 고폭약의 폭발 특성 해석 (노태준)

10-6. [실험]DSC 기반 반응속도식 구축 연구 (김유천)

10-7. [실험]전기 스파크를 이용한 약물전달 시스템 개발 (함휘찬)

10-8. [실험]LASER 유도 플라즈마를 이용한 겹친 지문 분리 (양준호)

10-9. [실험]LIBS 플러그를 이용한 연료분포 실시간 mapping (전형민)

10-10. [실험]DSC를 이용한 고에너지 물질의 Aging 연구 (오주영)

실험실: 고에너지 응용 연구실 XEL(eXtreme Energy Lab.)
연구실 홈페이지: http://ecl.snu.ac.kr/
교수 연락처: (02) 880-9334, E-mail: jjyoh@snu.ac.kr
담당조교: 김보훈 (02) 880-1507, E-mail: bhkim@snu.ac.kr

10-1. [수치해석]폭발 모델링 및 고에너지 열유체 전산 해석

The analysis of pyrotechnic mechanical actuation requires a full-scale, fully-integrated dynamic simulation of fluid-solid, combustion of explosives and propellants in a train configuration. The reaction of a solid-phase energetic material must be precisely calculated before transferring subsequent dynamic loading onto a contacting inert structure such as a metal or plastic that is commonly in contact with another energetic material in a so called train configuration. A pyrotechnic mechanical device (PMD) is typically devised with several energetic components together with inert gap materials that often play the role of shock pressure attenuator for various applications.

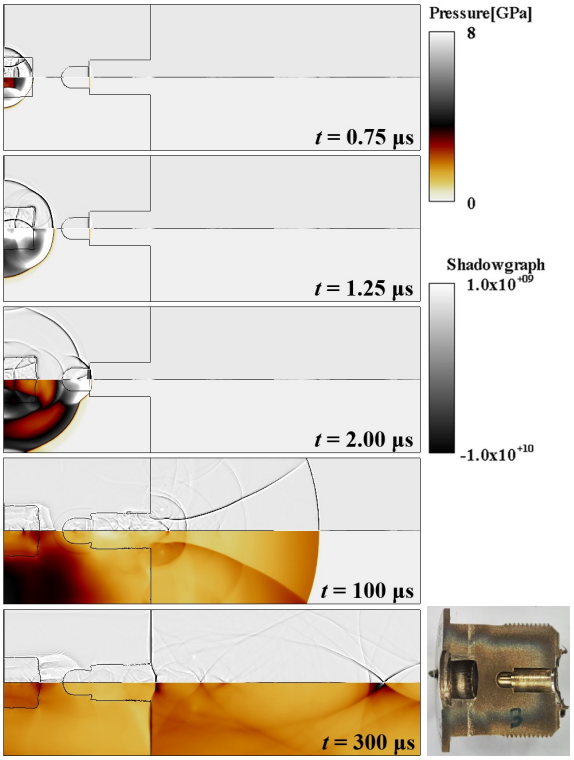

Fig 1. Shown schlieren (top) and pressure (bottom) fields for entire PMD-chamber assembly that shows the detonator (HNS+HMX), bulkhead (STS), acceptor (RDX), and propellant (BKNO3). Right lower corner is a cross cut of the actual device after single use for comparison with numerical prediction of deformed boundaries.

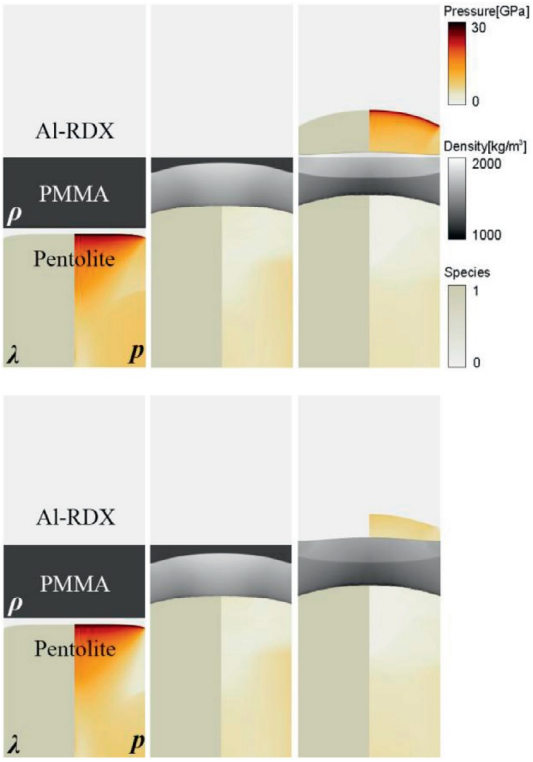

Fig 2. Full simulation of a large-scale gap test at PMMA thickness of 25 or 26 mm.
Shown reaction progress and pressure for donor (bottom)/acceptor (top), density for PMMA (middle). (upper) 25mm gap and (lower) 26mm gap at times *t* = 7, 12, and 15 μs.

담당조교 : 김보훈 (bhkim@snu.ac.kr)

10-2. [수치해석]차세대 우주추진 체계 개발을 위한 FSI 해석

추진기관은 높은 추력을 내기 위하여 2000 K, 100 기압 이상의 고온 고압의 환경에 노출되고 압력섭동이 지속적으로 일어나기 때문에 구조체의 파괴가 쉽게 일어날 수 있다. 따라서 설계 단계에서부터 구조체의 안정성을 실험 및 수치적인 방법으로 평가를 하게 된다. 이를 위해서는 추진기관 내부의 연소현상에 대한 해석도 중요하지만 연소에 의한 압력이 구조체에 전달 되었을 경우, 구조체의 거동 및 파괴를 예측하기 위한 fluid structure interaction(FSI) 기법이 필요하게 된다. FSI 기법은 유체와 고체 사이의 경계면을 추적하고 경계에서 경계값(boundary condition)을 결정해 주어야 유체와 고체의 해석을 수행할 수 있다. 본 연구실에서는 ghost fluid method(GFM)을 사용하여 경계면 추적 및 경계값을 결정한다. 아래의 그림 1 은 FSI 기법을 이용하여 떨리는 판에 의한 주변 유동장의 변화를 나타낸 것이다. 항복응력이 높은 베릴리움 판의 탄성 거동에 의하여 바뀌는 주변 유동장의 변화를 나타내었다. 그림 2 는 로켓 발사대에서 로켓의 화염에 의해 변형되는 하부 지지대의 변화를 해석한 것이다.

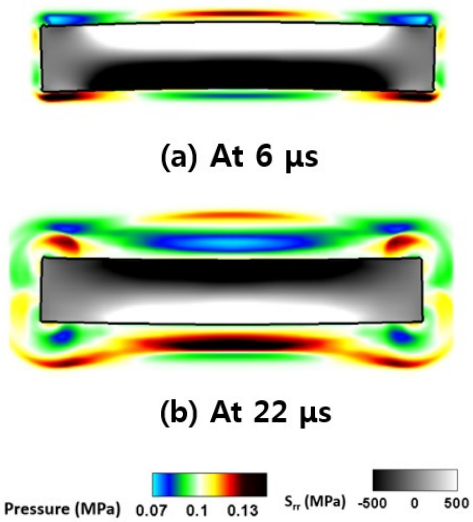

Fig 1. 베릴리움 판의 탄성거동 시 주변 유동장 압력 변화 및 고체 내부 응력 변화

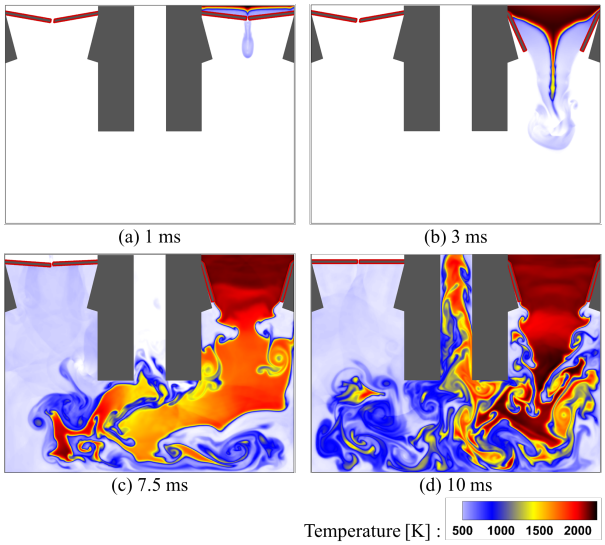

Fig 2. 로켓 발사대 하부 지지대 형상 변화 및 로켓 화염의 온도분포

담당조교 : 이영헌 (acd1236@snu.ac.kr)

10-3. [수치해석]Open FOAM을 이용한 연소 불안정 해석

연소불안정을 수치해석을 이용해 모사하고 예측하는 연구가 진행중이다. 연소불안정은 연소실 내부의 화염과 유동으로 인해 압력이 섭동함으로서 발생하며 소음, 화염 형상, reactant flow rate에 영향을 미치므로 이를 실험적, 수치해석적으로 예측하는 작업은 연소기 설계에 있어 매우 중요한 문제라고 할 수 있다. 현재 Fluent, OpenFoam, OSCILOS 등의 유체 해석 프로그램들을 이용한 연소불안정 연구가 학계에서 진행중이다.

본 연구에서는 압력 기반의 압축성 OpenFoam solver를 이용해 수치해석을 진행하고 있다. 우선적으로 cold flow와 연소 현상이 발생하는 hot flow의 비교 대조를 통해 화학반응이 연소불안정에 미치는 영향을 파악하며 이에 더해 swirl flow에서 발생하는 와류로 인한 연소불안정을 large eddy simulation (LES) 난류 모델을 적용해 파악하는 연구가 진행중이다. 나아가 실험에서 진행되었던 모형 가스터빈에서 주입되는 혼합연료의 조성 변화와 연소실의 길이 변화로 인해 나타나는 연소불안정 경향성을 수치해석적으로 예측하고 고체와 유동을 함께 해석할 수 있는 house code간의 비교를 통해 연소불안정이 고체 형태의 연소기 구조체에 주는 영향을 파악하는 연구를 진행할 계획이다.

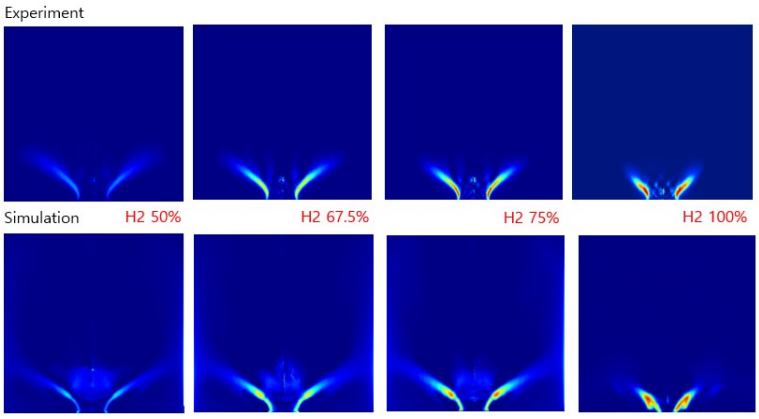

Fig 1. Comparison of flame shape in various fuel composition

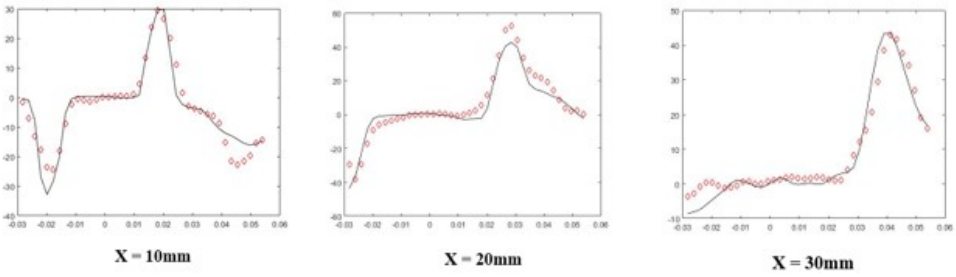

Fig 2. Radial profiles of the time-averaged radial velocity at various axial locations in H2 50% 75% fuel composition. Experiments (symbols) and LES simulation (lines)

담당조교 : 남재현 (wogus1336@snu.ac.kr)

10-4. [수치해석]Metallic powder기반 폭연 반응 해석

연료를 연소시킬 때는 연료와 산소, 발화점 이상의 온도가 필요하다. 일반적으로 연소 시 공기 중의 산소가 필요하나, 지연제 및 점화제와 같은 고에너지 물질들은 텅스텐이나 지르코늄과 같은 연료 외에 산소원자가 포함된 산화제를 포함한다. 그러므로, 공기 중의 산소를 사용하지 않고도 특정지점에서 임계 에너지 이상에 해당하는 높은 온도를 가했을 때 반응이 전파되어 연소가 일어난다. 이 때, 일어나는 반응을 폭연(Deflagration)이라 한다.

본 연구에서는 다양한 성분이 포함된 지연제에 대하여 DSC 실험을 통하여 Kinetic parameter를 얻어 Arrhenius 식으로 반응 속도를 모델링을 한다. 이 후, 열전도와 반응이 동시에 고려된 지배방정식을 풀어 지연제의 반응을 전산모사한다. 아래의 그림은 아래 부분에서 높은 온도를 가할 때, 열확산이 일어남에 따라 반응이 일어나는 모습이다.

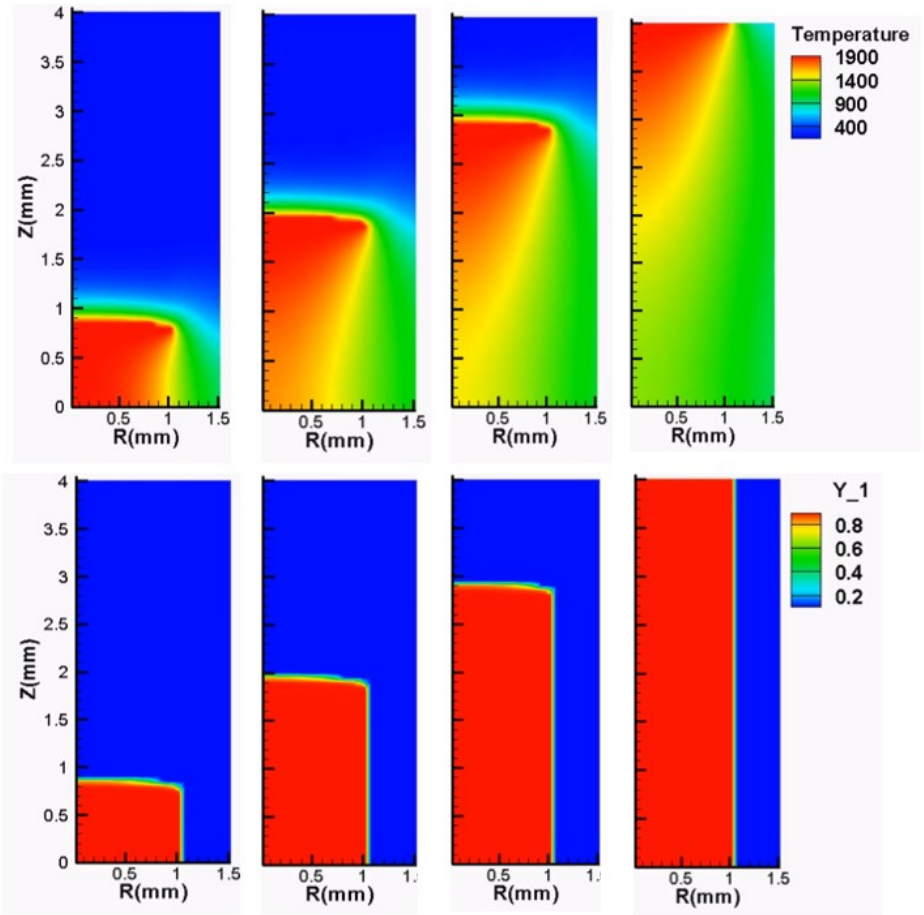

Fig 1. 텅스텐 지연제 폭연파 전파에 따른
온도(위) 및 생성물 분율(아래) 컨투어

담당조교 : 백동현 (bdh115@snu.ac.kr)

10-5. [수치해석]알루미늄이 함유된 고폭약의 폭발 특성 해석

The performance characteristics of aluminized high explosive are considered by varying the aluminum (Al) mass fraction in a hybrid non-ideal detonation model. Since the time scales of the characteristic induction and combustion of high explosives and Al particles differ, the process of energy release behind the leading detonation wave front occurs over an extended period of time. While experimental studies have been reported on the effect of Al mass fraction on both gas-phase and solid-phase detonations, the numerical investigations have been limited to only gas-phase detonation for the varying Al particles in the mixture. In the current study, a two-phase model is utilized for understanding the volumetric effects of Al mass fraction in condensed phase detonations.

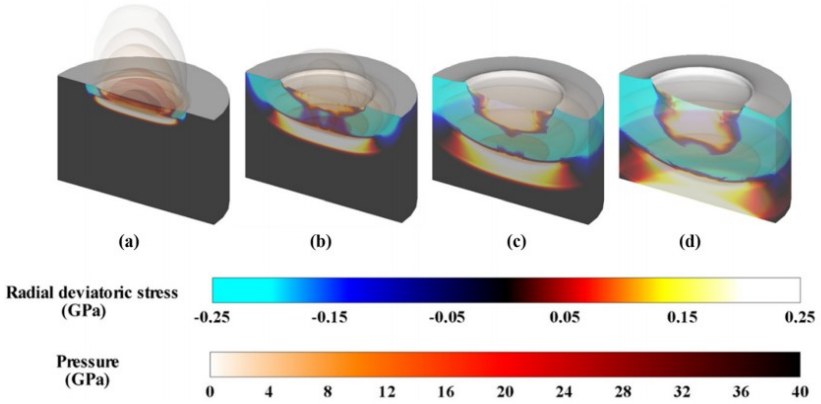

Fig. 1. Radial deviatoric stress contours and pressure iso-surfaces of the deformation at the top of the witness plate for the non-aluminized HMX at (a) 6 ls, (b) 8 ls, (c) 10 ls, and (c) 12 ls after shock initiation.

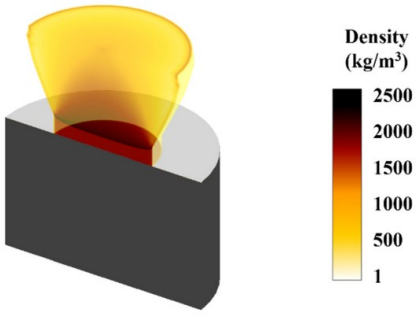

Fig. 2. Density contour of the propagation of detonation for the non-aluminized HMX at 4 ls after shock initiation.

담당조교 : 노태준 (cyvjcyvj@snu.ac.kr)

10-6. [실험] DSC 기반 반응속도식 구축 연구

고체 혹은 액체 상의 추진제, 화약 등과 같은 고에너지 물질의 정확한 전산모사를 위해서는 기본적인 Navier-Stokes 지배 방정식에 더하여 정확한 형태의 화학반응 속도식이 구성 방정식으로서 필요하다. 화학반응 속도식은 열적 가열 실험을 기반으로 하여 얻어지게 되는데 시차주사 열량계 (Differential Scanning Calorimetry, 이하 DSC) 는 오랫동안 사용되어 온 대표적인 열량 실험의 하나이다. DSC 실험 데이터를 바탕으로 Friedman 이 제안한 등전환 방법을 적용할 경우 대상 고에너지 물질의 반응속도식을 생성물의 질량분율(Product mass fraction)의 함수로서 반응속도식 변수들을 통해 구축할 수 있다.

전산모사 영역에서 기존에 사용되던 화학반응 모델들은 대게 1-step 또는 전체적인 화학반응에 주요한 영향을 미치는 몇몇 세부 화학반응 단계로 구축된 것들을 사용해 왔다. 본 연구에서는 여러 고에너지 물질을 대상으로 DSC와 등전환 방법을 사용하여 반응속도식의 화학반응 과정을 그림 1과 같이 매 질량분율마다 변화하는 매우 구체적인 속도식 변수로 표현한다. 이를 통해 계산 코드상에서는 계산 되는 화학 종 변수가 1개로 유지되기 때문에 1-step 화학반응식의 높은 계산 효율과 높은 정확성을 동시에 획득할 수 있다.

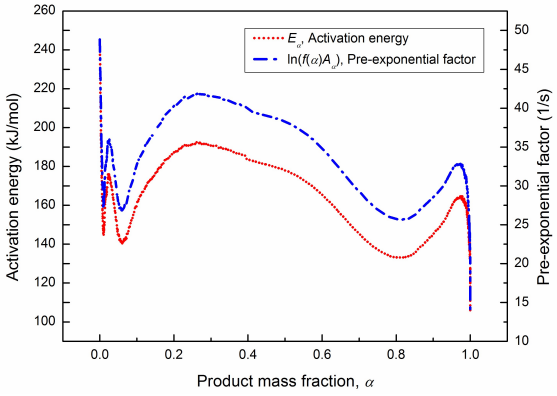

Fig 1. DSC 기반 반응속도식의 반응 속도 변수

Fig 2. DSC 장비

담당조교 : 김유천 (posirius@snu.ac.kr)

10-7. [실험]전기 스파크를 이용한 약물전달 시스템 개발

액체 내 전극 사이에 전압을 가하는 경우에 높은 전기장이 형성되면서 액체가 급격하게 발열 및 이온화 되어 플라즈마 채널을 생성하게 된다. 생성된 채널은 줄발열에 의해 팽창하게 되며 이온화된 기체를 포함한 버블과 압력파가 생성되어 액체 내부로 빠르게 전달된다. 본 연구에서는 이상의 과정을 거친 절연파괴 현상을 통해 생성된 압력파를 전기적으로 제어하여 미소 약물분사 기술을 구현하고자 한다.

생성된 미소젯은 상처 없이 피부를 침투시키는데 매우 효율적이다. 미소젯의 속도, 미립화 정도, 젯의 형상, 방출량 등 침투와 관련된 변수들과 전기 스파크로 생성된 버블과의 상관관계 분석이 주요한 연구 주제 중에 하나이다. 결론적으로 각 환자에 맞는 최적의 시술을 위해서는 인슐린의 침투 깊이 및 침투량의 제어가 필요하며 이는 곧 미소젯의 특성을 조절 및 최적화 하는 것을 의미한다. 제안하는 인슐린 주입 장치는 비침습 비접촉의 분사식 주사기의 장점을 유지하는 동시에 기존에 분사식 주입 장치의 단점을 새로운 메커니즘을 도입하여 문제를 극복하는 동시에 새로운 차원의 인슐린 전달 장치를 제안하고자 한다.

미소젯을 이용하면 소량의 약물을 펄스 형태로 반복적인 주입이 가능하기 때문에 인슐린을 환자에 환자에 최소부위에 특정 깊이까지 침투하는 방식과 넓은 부위에 고르게 침투하는 것이 모두 가능하다. 왼쪽의 침투 결과는 잉크를 돼지 피부에 국소부위침투, 넓은부위침투 시키고 광학 현미경으로 촬영한 결과이다.

정부주도 U-tech 밸리 창업 지원 프로그램에 선정되어 현재 바이오에이치 라는 회사를 설립하여 무통증 인슐린 주사기 상용화 진행중.

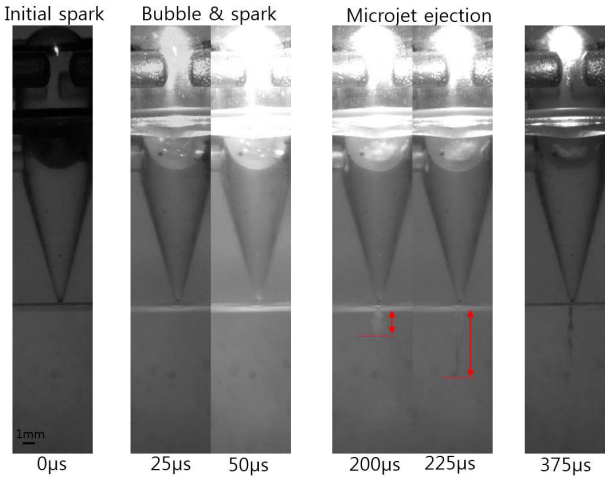

Fig 1. 스파크 생성 및 그에따른 마이크로젯 생성

담당조교 : 함휘찬 (hamn2012@snu.ac.kr)

10-8. [실험]LASER 유도 플라즈마(LIP)를 이용한 겹친 지문 분리

겹친 지문을 분리하기 위해서는 기본적으로 지문의 출처에 따라 레이저 스펙트럼의 경향성이 어떻게 형성되어 있는지 검출하는 것이 중요하다. 우선적으로 레이저 스펙트럼의 경향성을 주성분 분석 데이터로 변환하고, 변환된 주성분 데이터는 비교하여 추후에 지문의 출처겹친 지문을 각각 분리하였다. 중간에는 classification 방식을 적용하여, 지문의 출처가 다른 경우에 레이저 스펙트럼을 기반으로 지문의 출처를 추측할 수 있도록 알고리즘을 구축하였다.

LIPS 기반의 지문 분리 기술은 범죄현장에서 겹친 지문 증거물이 있는 상황에서 지문을 분리하여 범죄자의 신상까지 조사할 수 있다. 현재 사용되는 지문 감식 장치들은 하나의 지문을 선명하게 하는 작업과 이미지를 검출하여 매칭하는 것에 주력한다. 그러나 본 연구의 결과물은 겹친 지문의 이미지를 화학적 조성을 기반하여 분리 및 재구축할 수 있으며, 추후 이미지 처리를 통하여 지문의 출처를 밝히는 데에 일조할 수 있을 것으로 기대된다.

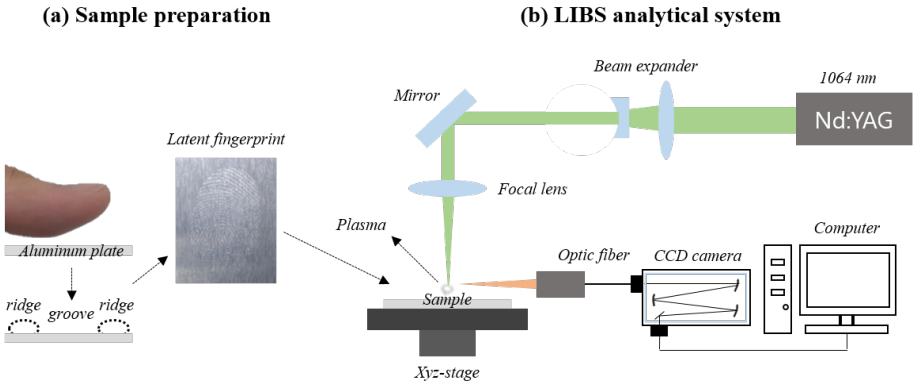

Fig 1. 실험 원리 및 장치셋업

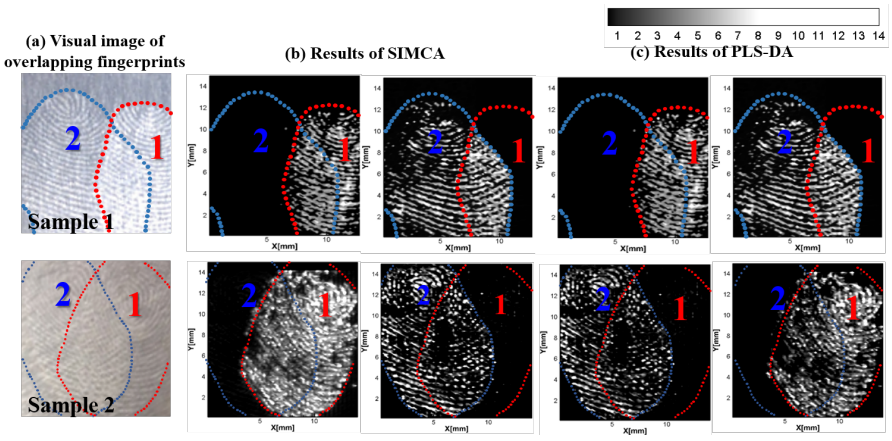

Fig 2. 겹친 지문 분리 결과

담당조교 : 양준호 (vkgkgk1002@snu.ac.kr)

10-9. [실험]LIBS 플러그를 이용한 연료 분포 실시간 Mapping

연소실 내에서의 연료의 분포는 연소 효율 및 점화에 있어서 중요한 요소 중 한가지이다. 특히 연소실 내부를 지나가는 유동의 속도가 굉장히 빠른 Ramjet 또는 Scramjet 엔진의 경우에는 연료의 분포가 연소에 미치는 영향이 더 커진다. 위와 같은 엔진의 연소실 구조에 관한 연구는 계속해서 진행 중이지만, 고정된 연소실 내에서는 다양한 조건 변화에 의해 연료 분포의 변동 폭이 크다. 만약 연소실 내에서 연료의 분포를 실시간으로 확인할 수 있다면 피드백 시스템을 구축하여 지속적으로 고른 연료의 분포를 유지할 수 있을 것이다.

레이저를 이용한 연료의 분포를 확인하는 방식 중에는 여러가지 방식이 있다. 하지만 LIF를 이용하여 연료나 화염의 분포를 확인하는 방식은 장비 구성이 복잡하며 충격에 민감하다. LIBS 장치를 이용한 당량비의 측정은 그 연구가 지속적으로 진행되어 왔지만, 한 지점에서의 당량비만을 측정할 수 있다는 단점과 기존의 LIBS 장비의 크기는 크고 불필요한 스펙트럼을 모두 얻는다는 단점을 가지고 있다.

실제로 연료의 당량비를 측정하기 위해서는 LIBS에서 얻은 스펙트럼 중 H와 O의 신호만이 필요하다. 이를 토대로 부피가 크고 민감한 기존의 LIBS 장비를 대신하여 작고 안정적이면서 당량비 측정에 필요한 신호를 받을 수 있는 플러그를 개발하였다. 또한 여러 지점에서의 당량비를 한 순간에 동시에 측정하기 위한 방식을 개발 중이다. 플러그를 이용하여 동시에 여러 지점에서의 당량비를 측정한다면 기존의 방식보다 간단한 구성을 가진 장치를 이용하여 실시간으로 연료의 분포를 얻어낼 수 있다.

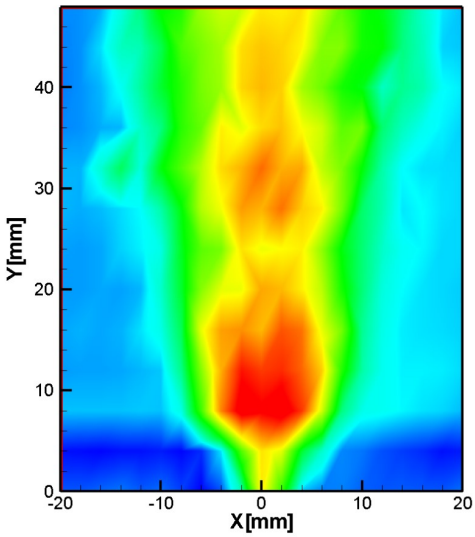

Fig 1. LIBS 로 측정한 화염의 온도분포

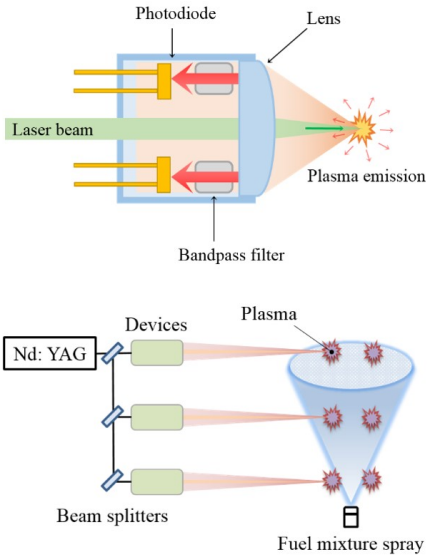

Fig 2. 실험 원리 및 장치셋업

담당조교 : 전형민 (jordanjun@snu.ac.kr)

10-10. [실험]DSC를 이용한 고에너지 물질의 Aging 연구

Differential Scanning Calorimetry (DSC)란, 오른쪽의 Fig 1과 같이 기준이 되는 물질 (reference)과 측정하려는 물질 (sample)을 지정한 온도범위에서 온도가 상승 할 때, 이 온도의 변화에 따른 두 물질의 온도차이를 열의 흐름으로 읽어내는 장비를 말한다. 이때 sample이 고유의 반응을 하게 되면, 온도가 상승하는 정도가 기준 물질과 달라지기 때문에 온도차이가 발생하며, 이때 측정한 열 흐름을 통해 샘플의 특성을 측정할 수 있다. 샘플의 특성으로는 피크의 위치, 모양, 개수, 녹는점, 발열량 등이 있다.

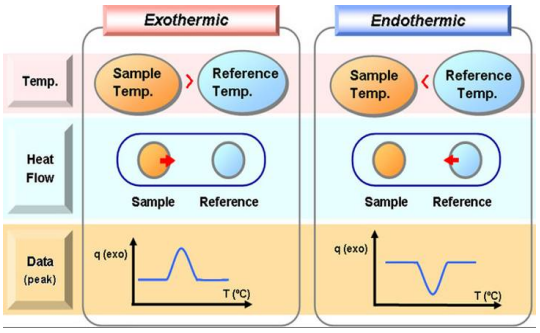

Fig 1. The Principle of DSC

이러한 DSC 장비를 이용하여 고에너지 물질의 특성변화와 activation energy나 pre-exponential factor와 같은 kinetic parameter들을 구할 수 있다. 이 때, 고에너지 물질을 특정 온도환경에 노출시켜 노화를 가하거나 또는 특정 습도를 가진 환경에 노출시켜 노화가 진행되게 할 수 있다. 이 때, 온도변수만으로 노화시키는 것을 가속노화라고하며 습도변수로 노화시키는 것을 수분노화라고 한다. 본 연구에서는 가속노화, 가속노화+수분노화 된 샘플들을 DSC장비를 사용하여 물질의 특성변화, 노화가 물질에 어떠한 영향을 끼치는 지에 대해 분석을 하고 있다.

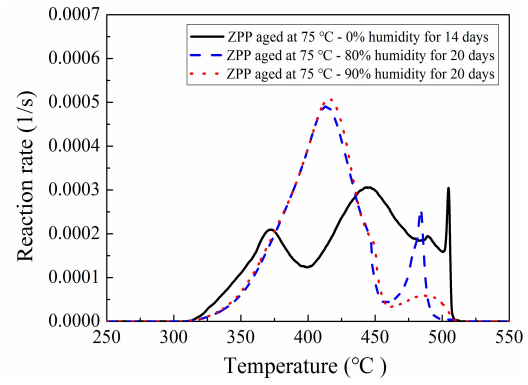

Fig 2. Reaction rate of humidity aged samples

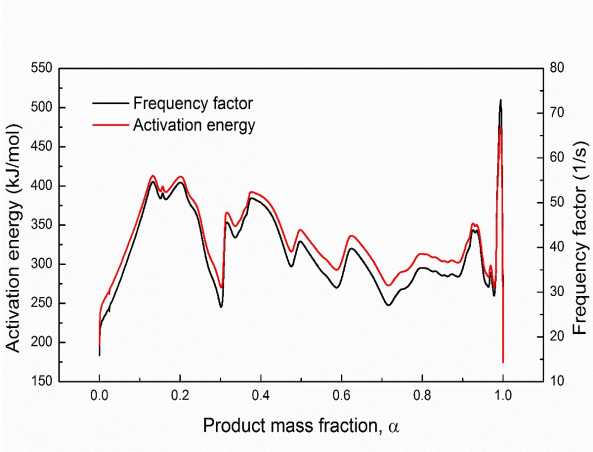

Fig 3. Activation energy and Frequency factor

담당조교 : 오주영 (5_ju0@snu.ac.kr)